

3.3 地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究①

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：七澤利明、真弓英大、谷本俊輔

【要旨】

本研究は、傾斜地等に立地する道路橋を対象として、地震による大きな地盤変状で下部構造自体が大きく移動する事象に対して、地震時に道路橋に影響を及ぼすような変状を起こしやすい地盤条件の判定手法や大きな地盤変状が構造物の安全性に及ぼす影響を明らかにし、構造物の耐震安全性を高めるための方策を提示することを目的としたものである。

平成 26 年度は、地すべり等の要因に伴い地盤変状を生じる可能性がある斜面上に設置された道路橋の組杭基礎に対して、地盤変状の規模と組杭基礎の諸元の違いが基礎の安定性に及ぼす影響を明らかにするために遠心力载荷実験を行った。

キーワード：道路橋，地盤変状，遠心力载荷試験，組杭深礎基礎

1. まえがき

大規模な地震に対する道路橋の耐震性は、既往の地震被害の経験や研究開発の成果を踏まえて技術基準の改定や既設橋に対する耐震補強の対策がなされた結果、着実に向上してきている。しかし、地震時に大きな地盤変状の影響を受ける場合については、地盤変状の範囲・規模やこれが橋に与える影響について十分な知見がないことから、現行の設計体系にはほとんど反映されていない。このため、地震時に大きな地盤変状の影響を受ける道路橋は、安全性はもとより、復旧、復興の長期化などにより地域経済に大きな損失を及ぼしかねない甚大な被害を生じる可能性がある。

例えば、平成 16 年新潟県中越地震や平成 20 年岩手・宮城内陸地震をはじめ、近年の地震被害の特徴に、特に山地や丘陵の急峻な地形に立地した道路橋が、過去に滑動した経験がない基礎岩盤の初生すべりや地盤の大きな変状により落橋、段差、移動等の被災事例が多く見られている。このため、あらかじめ十分な調査を行い大きな斜面変状が生じるような箇所を避けて架橋することが基本であるが、条件によっては、地盤変状を生じうる箇所に架橋せざるを得ない場合も考えられる。しかしながら、このような場合に地震時に大きな地盤変状を受ける道路橋の耐震安全性を確保するために必要となる手法は確立されていない。

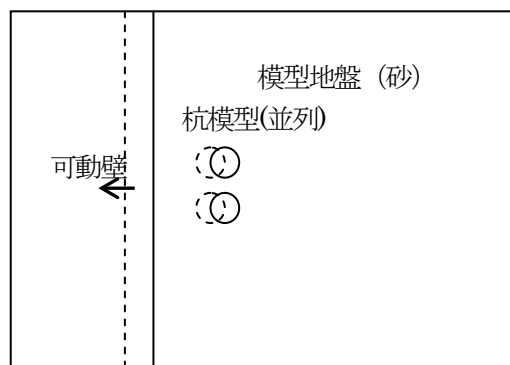


図-1 実験概要図(平面図)

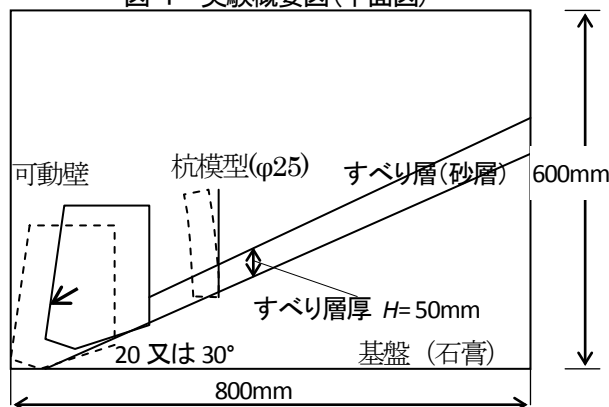


図-2 実験概要図(縦断面図)

2. 斜面上に設置された深礎基礎の実験試算条件

今年度は、地盤変状を生じうる斜面上に設置された道路橋の杭基礎に対して作用する外力により生じる杭

体応力度について実験を行い検証した。図-1 に実験模型の概要図を示す。(奥行) 500mm×(幅) 800mm×(高さ) 600mm の土槽に焼石膏を用いて斜角 20° と 30°の基盤を作成し、すべり層の砂層(東北珪砂 7号)を敷設した。

基盤の上面にはローラータイプの直線案内を挟み込み、すべり層と基盤の摩擦を極力低減させる構造とした。道路橋基礎は、組杭基礎を対象とし、遠心力加速度は 80G とし、スケールは 1/80 より模型杭径は 25mm とした。基礎の材質は、実物の杭と曲げ剛性を整合させるために、アルミニウムパイプ(直径 25mm、厚さ $t=1.5\text{mm}$)を使用した。また、すべり層厚さ H は、実際のすべり層を 5m と想定したため、模型スケール 1/80 よりラウンド値を用いて 50mm とした。表-1 に模型実験諸元を示す。実験ケースは杭配置及び基盤の斜角をパラメータとした表-2 に示す 7 ケースとした。

表-1 実験模型諸元

模型スケール	1/80
遠心加速度 (G)	80
基礎径 (mm)	25 (2000)
() 内は実寸	
基礎の材質	アルミニウムパイプ (直径 $\phi 25\text{mm}$, 厚さ $t=1.5\text{mm}$)
すべり層	東北珪砂 7号 (乾燥状態, 相対密度 $D_r=90\%$) 厚さ $H=50\text{mm}$

表-2 実験ケース一覧

ケース名	基盤の斜角	杭配置 (平面図)
1 (4)	20° (30°)	1本
2 (5)		並列
3 (6)		縦列
7		2×2

なお、並列、縦列および 2×2 の杭中心間隔は、文献1)を参考に 2D (D:杭径)とした。実験は、遠心力载荷装置により遠心加速度 80G を载荷した後、電動式ジャッキにより可動壁を徐々に移動させることによりすべり層を滑らせた。計測項目は表-3 に示す通りである。

表-3 実験計測項目

計測項目
杭模型のひずみ (3箇所 / 本)
杭模型前後の土圧
可動壁の変位量
杭模型の杭頭変位量
模型地盤の地表面変位量

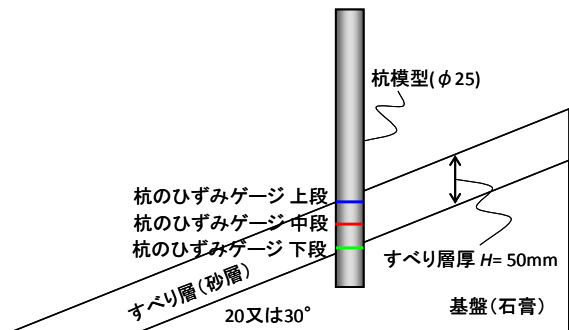


図-3 ひずみゲージ位置図

杭模型のひずみは、図-3 に示すとおり、すべり層内の 3 箇所(上段・中段・下段)で計測した。

3. 遠心力载荷実験の結果

1) 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度の関係

表-4~10 に可動壁の変位量と杭に設置したひずみゲージから求めた曲げ応力度の関係を示す。ここで、可動壁の変位量は実物大に換算した変位量である。また曲げ応力度は計測した杭のひずみに弾性係数 E (普通純度アルミニウム: $E=68.6\text{kN/mm}^2$) を乗じて算出したものである。

いずれの杭配置においても、下段、中段、上段の順に発生曲げ応力度が大きくなる事が確認できる。また、可動壁の変位量と曲げ応力度の関係に着目すると、可動壁が移動した後に、一度、曲げ応力度のピークが発生するが、その後漸減し、再度増加する傾向が見られる。

ケース 1 とケース 2 の曲げ応力度を比較すると、ケース 2 の方が曲げ応力度の値が小さくなっていることから、並列配置による隣接杭との干渉による影響が現れていると思われる。

ケース 1 とケース 3 の曲げ応力度を比較すると、ケース 3 の斜面上側の杭にはケース 1 と同等の曲げ応

表-4 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度(ケース 1)

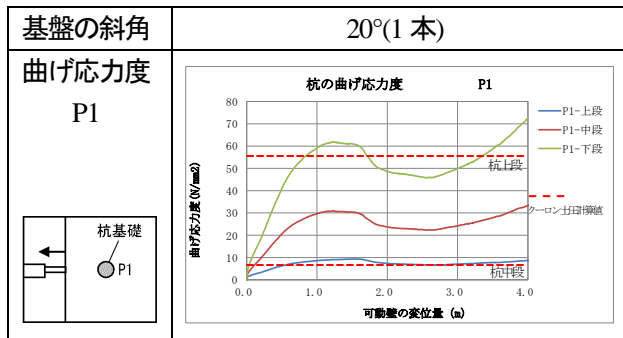


表-7 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度(ケース 4)

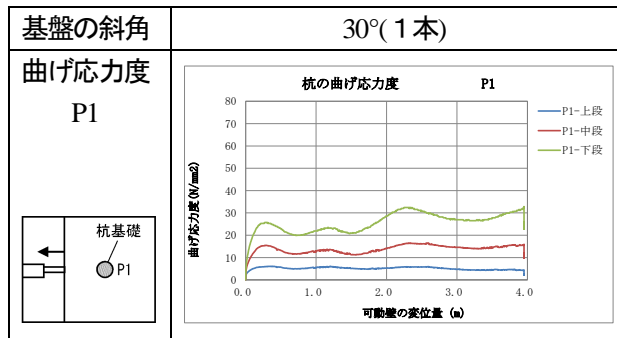


表-5 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度(ケース 2)

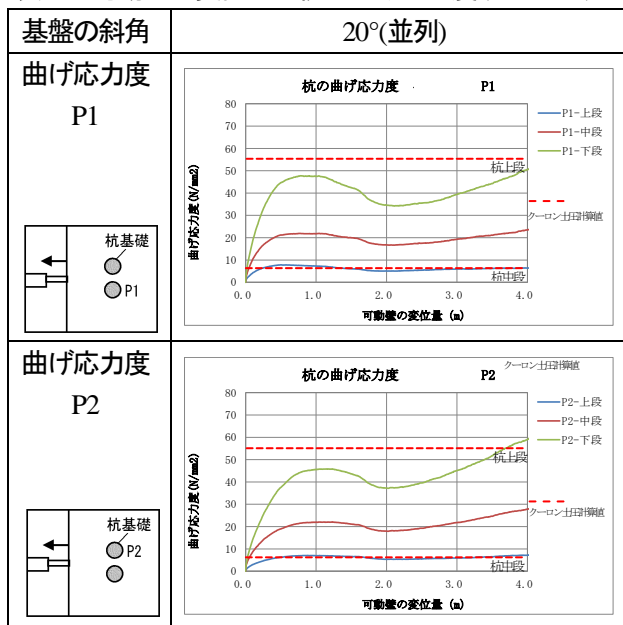


表-8 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度(ケース 5)

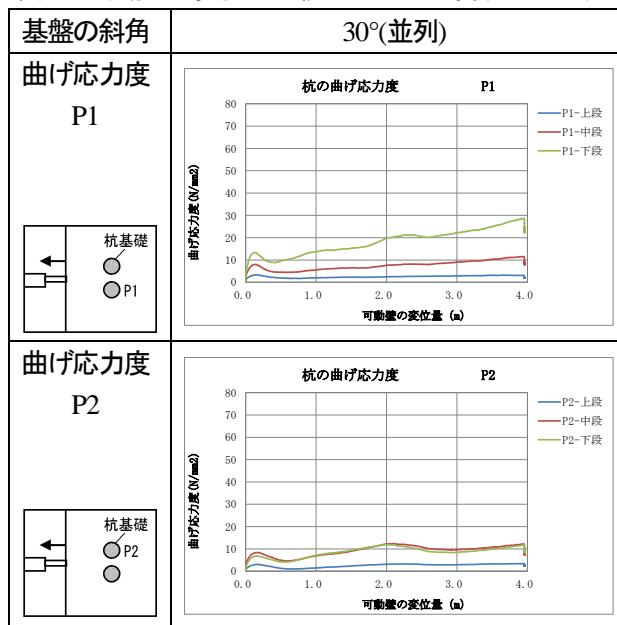


表-6 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度(ケース 3)

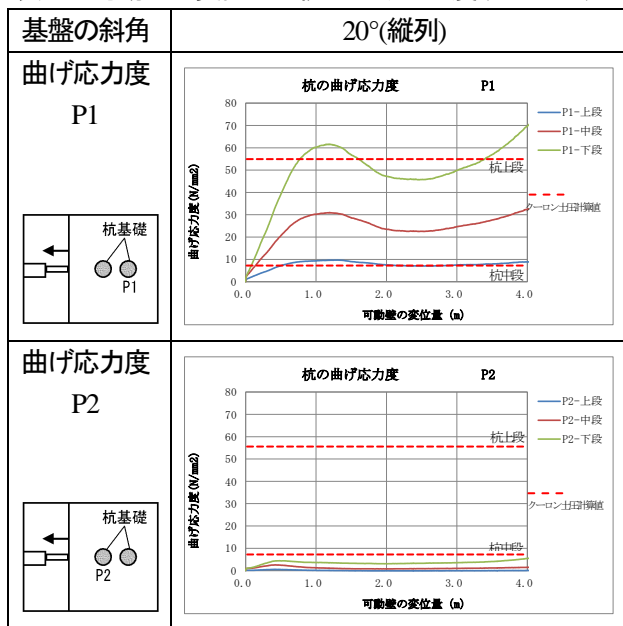


表-9 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度(ケース 6)

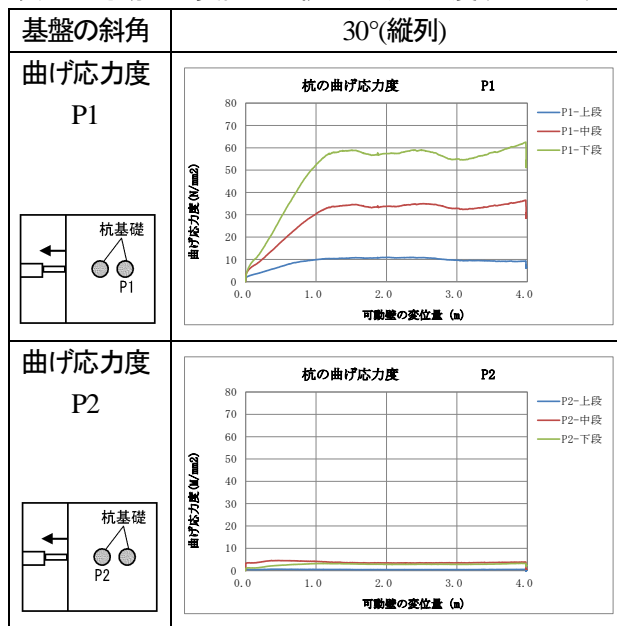
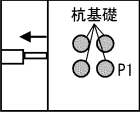
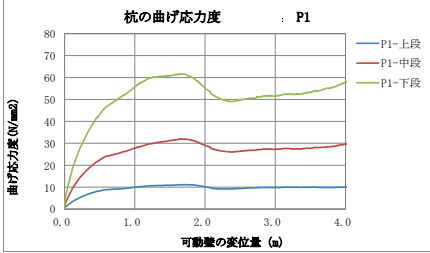
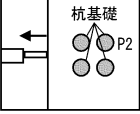
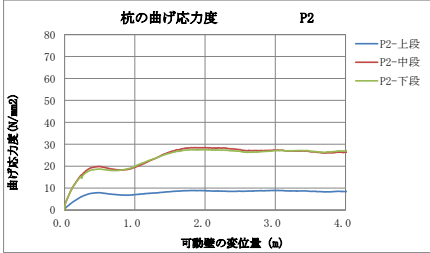
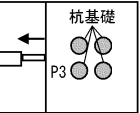
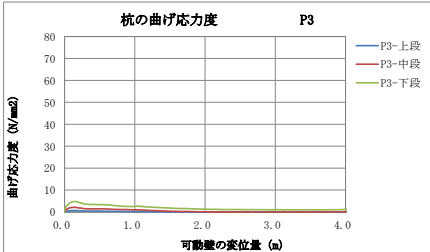
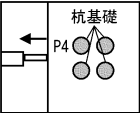
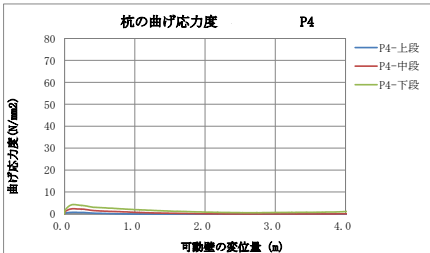


表-10 可動壁の変位量と杭の曲げ応力度(ケース 7)

基礎の斜角	30°(2×2)
曲げ応力度 P1 	
曲げ応力度 P2 	
曲げ応力度 P3 	
曲げ応力度 P4 	

力度が発生している一方で、斜面上側の杭には非常に小さな曲げ応力度しか発生していないことが分かる。ケース 7 の斜面上側の杭(P1)と斜面下側の杭でも、同様の傾向が見られる。なお、ケース 4 及 5 は他のケースと比較して、全体的に小さな曲げ応力となっているため、原因について今後調べていく必要がある。

2) クーロンの土圧式による比較

道路橋示方書IV下部構造編²⁾に示される受働土圧強度式(式-1)により杭に作用する三角形分布の受働土圧強度 p_p を算出し、すべりが発生した際に杭下段(すべり層最深部)及び杭中段に発生する曲げ応力度を試算し実験値との比較を行った。

計算の結果、斜角 20° の場合、杭下段(地表面か

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\cos \delta \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\cos \delta \cos \alpha}} \right]^2} \quad \text{--- 式(1)}$$

ここに、

K_p : 常時の受働土圧係数

ϕ : 土のせん断抵抗角 (°)

δ : 常時の壁面と土の摩擦角 (°) で、 $-\phi/3$

α : 地表面と水平面のなす角度 (°)

ら約 5.0m) で 55 (N/mm²) 程度、杭中段(地表面から約 2.5m と想定)で 7 (N/mm²) 程度と算定された。

ケース 1 及び 3 の場合、可動壁が変位を始めてから最初に現れるピーク値(以下、ピーク値)は、杭下段で約 60 (N/mm²) であり、クーロンの土圧式の計算結果よりも若干高い値であるものの、概ね整合する値となっている。杭中段の場合は、ピーク値は約 30 (N/mm²) であり計算値よりも大きな値となった。ケース 2 の場合、ピーク値は杭下段で約 50 (N/mm²) であり、クーロンの土圧式の計算値よりも若干低い値であるものの、概ね整合する値となった。杭中段の場合は、ピーク値は約 20 (N/mm²) であり試算値より大きな値となった。

斜角 30° の場合の計算値は、杭下段で 1110 (N/mm²)、杭中段で 140 (N/mm²) と算出された。実験の計測値とかけ離れた値となっており、今後、このメカニズムや評価方法を検討する必要がある。

土圧式の評価については、今後も実験等を積み重ね、評価方法を検討していく予定である。

4. まとめ

本報告では、地盤変状によって深礎基礎に作用する土圧を評価するため、斜面の傾斜角と深礎杭の平面配置をパラメータとした遠心模型試験を行い、斜面角度や杭の設置位置の違いによる杭に発生する曲げ応力度を整理した。また、遠心載荷試験結果とクーロンの受働土圧の試算結果との比較を行った。

今後、実験データの蓄積や解析的な検討も行ったうえで、地盤変状を生じうる斜面上に設置された道路橋の杭基礎に対して作用する外力の評価方法について更なる検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：斜面上の深礎基礎設計 施工便覧 平成 24 年 4 月
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 平成 24 年 4 月

RESEARCH ON THE COUNTERMEASURES FOR PREVENTING THE DAMAGE OF A ROAD BRIDGE CAUSED BY MOVEMENT OF THE GROUND BY EARTHQUAKE (1)

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Bridge and Structural
Technology Research Group

Author : NANAZAWA Toshiaki

MAYUMI Hidemoto

TANIMOTO Shunsuke

Abstract : The purpose of this research is to propose the countermeasures for preventing the damage of road bridges caused by movement of the ground such as landslide, liquefaction induced ground flow by an earthquake. In FY2014, Evaluation of the behavior of deep foundation in a slope of possible land slide was done through centrifuge test. The result was as follows

- 1) The bending stress of pile itself was smaller when the multiple piles were set parallel to the slope, comparing to the one pile.
- 2) The bending stress of single pile from centrifuge test was almost the same as the value of Coulomb's passive pressure.

Key words: road bridge, movement of the ground , drilled pile foundation, centrifuge test